

A Fundamental Study for Establishment of Channel Data Base in Power-Line Communications

吳 輝 明* · 金 觀 鎬** · 李 垣 泰*** · 李 在 祚§
 (Hui-Myoung Oh · Kwan-Ho Kim · Won-Tae Lee · Jae-Jo Lee)

Abstract - In the power-line communication systems, there are many factors of noise and attenuation in the power-line channels, because they were designed for not the communication but the power transmission. Also the transfer function of the channels is highly changed with the topology and the load of the power-lines. To cope with these poor channel situation, channel modeling, one of the many studies in progress, is being studied hard. Channel modeling is essential to apply the active schemes to overcome the bad channel(e.g. modulation technique, channel coding, signal coupling & filtering, etc.) to the power-line communications. In this paper, we have realized the statistical model(this model is suggested as the channel modeling method for the power-line channels) that is combined the transfer function with the various noises. And we have compared and examined the results with the measured data. Also we have studied the plan which can effectively establish the channel data base for the channel information consisted of the parameters that are derived from this modeling, and we have studied the plan to utilize the data base.

Key Words : power-line communications, channel data base, statistical channel modeling, transfer function, noise model

1. 서 론

전력선 통신은 기본적으로 데이터 전송용이 아닌 전력 전달을 목적으로 설계된 전력선을 통신 매체로 이용하기 때문에 상당한 잡음과 감쇠현상이 나타나며 또 전력선 topology와 부하의 변화에 따라 전달 함수의 변화도 심하다[1]. 이로 인해, 전력선 통신에 사용할 변복조 방식, 채널 코딩, 커플링, 필터링 등을 적용함에 있어서 상당한 어려움과 문제점이 발생할 뿐만 아니라, 하나의 시스템이 채널 특성에 따라 적절히 구성되어도 환경 변화에 따른 채널 특성 변화로 인해 제대로 성능을 나타내지 못하는 문제점이 발생한다. 이를 해결하기 위해 요구되는 것이 적절한 전력선 채널 모델과 함께 채널 특성 파라미터들의 Data Base화이다.

전력선 채널 모델은 소프트웨어 또는 하드웨어적 모의 실험(simulation)에 이용되어 전력선 통신의 세부적인 기술들의 개발 및 성능 평가를 가능하게 한다. 또 채널의 변화 특성의 적절한 모델링을 통해 전력선 통신 시스템의 적응형 동작 및 운용과 같은 효율적인 시스템 설계가 가능하게 된다.

채널 특성 파라미터들의 Data Base화는 전력선 모델이 적응형 동작을 통해 해결할 수 있는 범위 이상의 채널 변화를 대응하는 역할을 한다. 채널 변화가 심한 특성을 보이는

전력선 채널은 단순화되고 최적화된 채널 모델링 기법을 통해 얻어지는 파라미터를 Data Base화시킨 후 채널 추정(channel estimation) 등에 의해 선택적으로 사용될 경우 시스템의 안정성과 효율성을 증대시킬 수 있다. 또한, 채널 Data Base는 각종 전력선 통신 시스템의 성능 평가 및 검증에 있어서도 그 활용 가치가 크다.

본 논문에서는 전달함수와 잡음 모델을 결합한 전력선 채널 모델링 기법을 통해 실측 채널을 구현함으로써 필수적인 채널 요소들을 결정하며, 이 요소들의 필수적 파라미터들을 도출하여 효과적으로 채널 Data Base를 구성할 수 있음을 보이며, Data Base의 활용 범위와 방안을 제시한다.

2. 전력선 채널 모델링

2.1 전달 함수

전력선 통신은 고속 서비스를 위해 다중 반송파 방식의 일종인 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing), DMT(discrete Multi Tone) 등의 전송방식을 사용한다. 이 고속 서비스(Mbps급)를 제공하기 위해 전력선 통신에서 사용되는 주파수는 저속 서비스(kbps급)에 대해 사용되었던 9k~450kHz 대역에서 1M~30MHz 대역으로 확장되었으며, 하나의 모뎀이 전 대역에 걸쳐 송수신하므로 전 대역 전달 함수의 구현이 중요하게 되었다.

전력선 채널의 주파수 영역 특성인 전달함수는 시간 영역 임펄스 응답의 Fourier 변환(FFT:Fast Fourier Transform)을 통해 모델링하며, 이 때 대표적인 방식으로 Pulse model과 Echo model이 있다[2].

* 正 會 員 : 韓國電氣研究院 研究員
 ** 正 會 員 : 韓國電氣研究院 責任研究員
 *** 正 會 員 : 韓國電氣研究院 責任研究員
 § 正 會 員 : 韓國電氣研究院 先任研究員
 接受日字 : 2002年 10月 21日
 最終完了 : 2002年 11月 20日

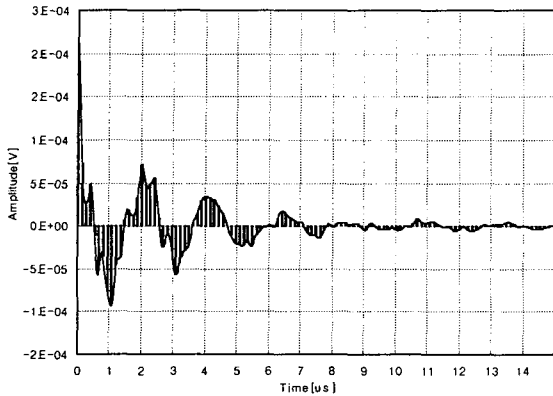


그림 1 임펄스 응답의 Pulse Model 적용
Fig. 1 Pulse model for impulse response

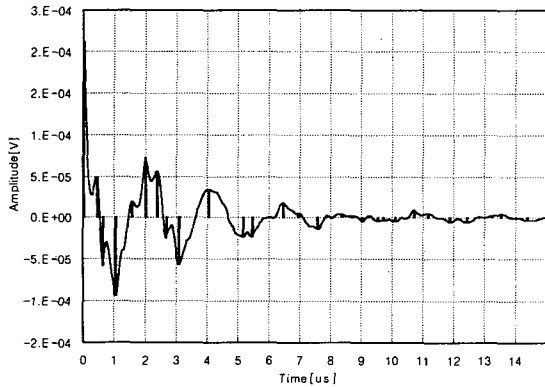


그림 2 임펄스 응답의 Echo Model 적용
Fig. 2 Echo model for impulse response

그림 1과 2는 실측 임펄스 응답에 대해 각각 Pulse model과 Echo model을 적용한 것이다. Pulse model은 일정한 주기로 샘플링하는 방식으로 샘플의 개수를 증가시키면 따라 보다 충실한 구현이 가능하게 된다. 그러나 샘플 개수의 증가는 FFT의 차원과 계수의 증가에 의한 계산량과 비용의 증가를 가져온다. 이에 반해, Echo model은 임펄스 응답에서 다중 경로만을 취하는 방식으로, 지역 최대 및 최소 값을 사용한다. 샘플의 개수를 최소화 할 수 있으면서도 비교적 충실한 구현이 가능하다는 장점이 있으나, 고주파 영역에 대한 왜곡이 주파수의 증가에 따라 커지는 단점이 있다.

그림 3에서 실측치 전달함수와 그림 1, 2에서 보인 모델링 방식에 의해 얻은 전달함수를 비교하면, 두 방식 모두 실측치와 유사한 결과를 나타내며, 전달함수 구현 및 Data Base화에 있어서 복잡성과 비용을 고려할 때, Echo model이 Pulse model보다 유용하다. 고주파 대역에서는 두 방식 모두 왜곡이 발생한다.

2.2 채널 잡음

전력선 채널 잡음 모델은, 전력선 채널상의 잡음이 여러 가지 잡음원에 의해 발생된 잡음들을 포함하기 때문에, 각각의 잡음 종류에 따라 독립적으로 모델링한 후 재구성하는 방식을 취한다. 전력선 채널의 잡음은 다음과 같이 세 가지

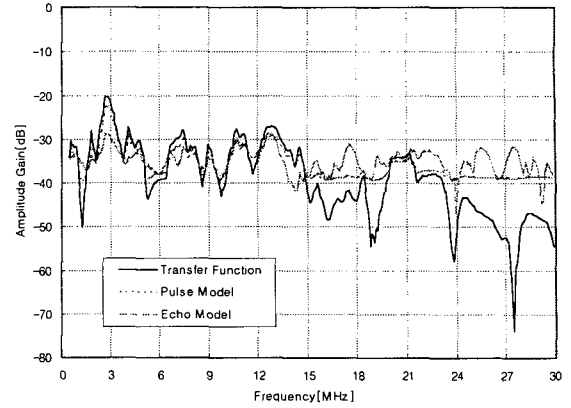


그림 3 전달함수의 실측치 및 모델링 구현 결과
Fig. 3 Results of measuring and modeling for transfer function

로 분류한다[4].

1. 배경 잡음(Background Noise) : 배경 잡음은 낮은 전력을 갖는 수많은 잡음원들로부터 발생하는 잡음들의 합이며, 비교적 낮은 전력 스펙트럼 밀도를 가지나 주파수에 따라 변화한다.
2. 협대역 잡음(Narrow Band Noise) : 협대역 잡음은 중, 단파 방송 대역상의 방송 송신 신호에 의한 잡음으로서 주로 sine파 형태의 신호들이다.
3. 충격 잡음(Impulsive Noise) : 충격잡음은 주파수 영역 상에서 불연속적인 선스펙트럼 형태로 나타나며, 전력신호와 동기화된 전원들 또는 개폐전원 장치에 의해 발생하는 주기적 충격 잡음과 네트워크 상에서 순간적인 개폐 동작에 의한 비주기적 충격잡음 등을 포함한다.

그림 4는 전력선 채널의 실측치 잡음의 예를 보여준다. 전력선 채널 잡음의 실측은 그림 5와 같이 일반적인 가정집의 형태로 구성된 옥내용 테스트 베드에서 스펙트럼 분석기

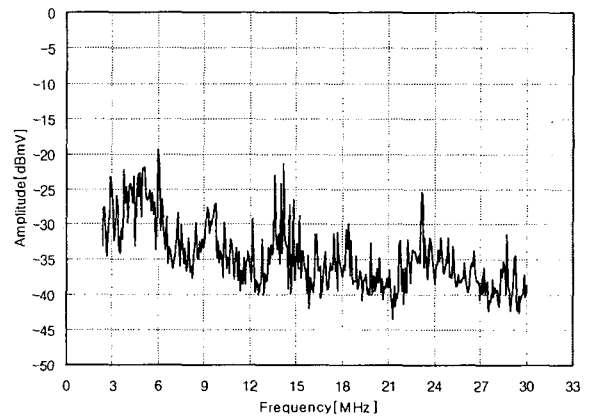


그림 4 전력선 채널 실측 잡음(4-A지점)
Fig. 4 Measured noise of power-line channel(4-A)

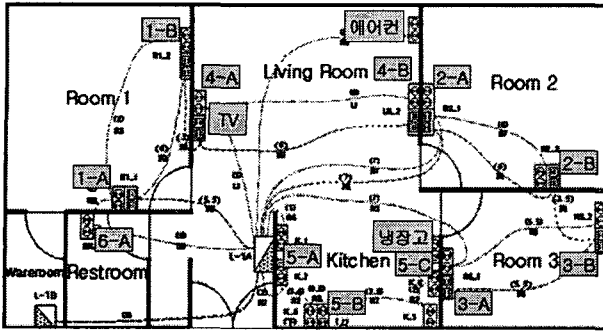


그림 5 옥내용 채널 테스트 베드
Fig. 5 Indoor channel test bed

를 통해 각 지점마다 측정하는 방식으로 얻어지며, 실제 그림 4의 측정치는 4-A 지점에서 측정된 것이다. 테스트 베드 내에는 테스트용 에어컨, TV, 냉장고가 부하기로서 동작되었다. 측정 결과에서 잡음의 크기가 주파수 증가에 따라 감소한다는 것을 알 수 있는데, 이것은 배경잡음이 주파수의 증가에 따라 감소하기 때문이다.

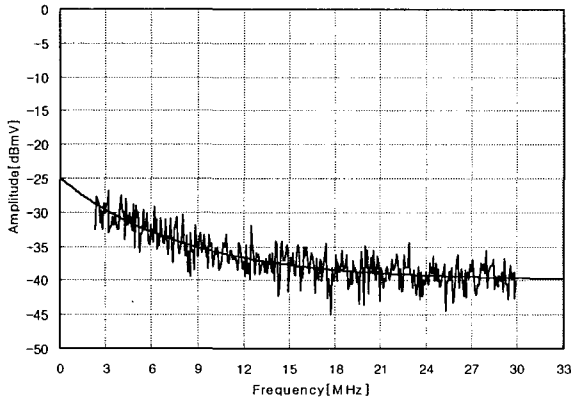


그림 6 배경 잡음 모델
Fig. 6 Background noise model

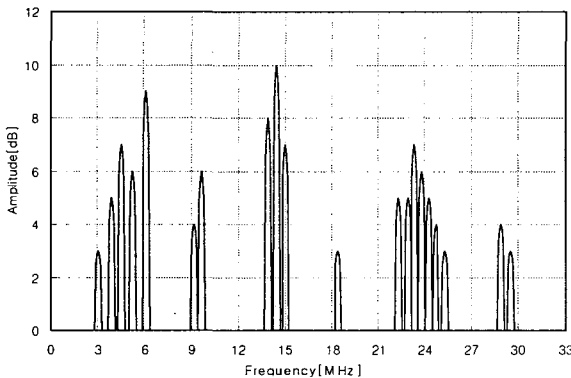


그림 7 협대역 잡음 모델
Fig. 7 Narrow band noise model

그림 6에서 8은 그림 4의 실측 잡음을 앞에서 언급한 세 가지 잡음분류에 따라 각각 다음과 같이 단순화하여 모델링한 것이다.

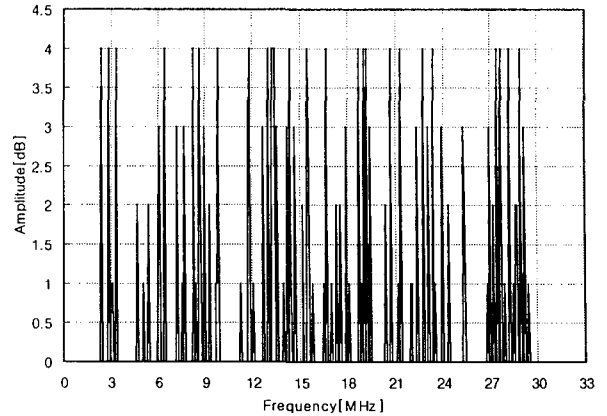


그림 8 충격 잡음 모델
Fig. 8 Impulsive noise model

■ Background Noise :

$$BN(f) = -40 + 15e^{-f/8} + a \quad [\text{dBmV}] \quad (1)$$

■ Narrow Band Noise :

$$NBN(f) = \sum_n A_n B(f - f_n) \quad [\text{dB}] \quad (2)$$

■ Impulsive Noise :

$$IN(f) = \sum_i I_i \delta(f - f_i) \quad [\text{dB}] \quad (3)$$

■ Total Noise :

$$TN(f) = BN(f) + NBN(f) + IN(f) \quad [\text{dBmV}] \quad (4)$$

여기서,

f : Frequency [MHz]

a : Normal(0,4) random 변수 [dB]

A_n : n-th band noise amplitude

$$B(f) : \begin{cases} \sin c\left(\frac{f}{6}\right) & \text{for } -0.2 < f < 0.2 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

f_n : n-th band center frequency [MHz]

I_i : i-th impulsive noise amplitude

f_i : i-th impulsive noise frequency [MHz]

전력선 채널의 전체 잡음은 식 (1),(2),(3)으로부터 식 (4)와 같이 얻어지며, 그림 9는 잡음 모델로 구현된 전체 잡음 스펙트럼이다. 단순화된 모델임에도 불구하고 그림 4에 나타난 측정치와 비교할 때 거의 일치한다. 즉, 각 식에 사용된 몇 개의 파라미터들의 통계적 측정 및 모델링으로부터 유용한 채널 모델을 얻을 수 있으며, 이러한 채널 모델들의 단순화된 데이터는 채널 Data Base의 구성 및 효율적인 운용을 가능하게 한다. 그러나 이러한 모델링 방법에 있어서의 문제점은 전력선 채널 잡음의 주파수 영역 특성이 통계적으로 거의 일치하는 반면, 보다 세부적인 채널 잡음의 시변 특성을 구현하는데 있어서는 다소 보완되어야 한다는 단점을 갖는다는 것이다. 그림 4의 실측 결과와 그림 9의 모델링 결과상에서도 이러한 순간적인 시변 특성의 차이가 존재한다.

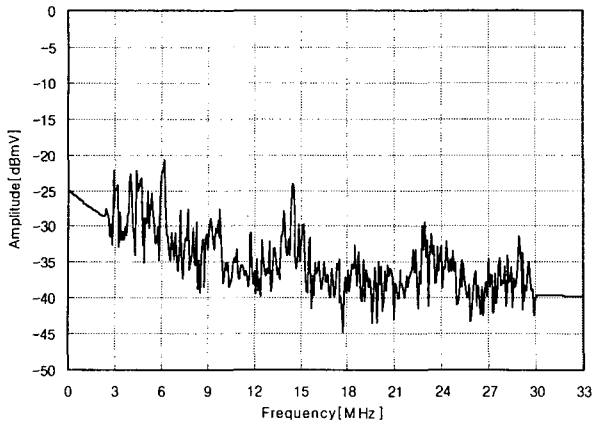


그림 9 전체 채널 잡음 모델
Fig. 9 Total channel noise model

2.3 전력선 채널 모델

그림 10은 전력선 채널 모델이 전달함수와 채널 잡음으로 구성되는 것을 보인다. 수신 신호 $r(t)$ 는 송신된 신호 $s(t)$ 가 채널의 전달함수 $h(t)$ 에 따라 다중 경로 및 지연, 감쇠 등의 영향을 받고, 수신단에서 여러 가지 잡음들의 합으로 표현된 잡음 신호 $n(t)$ 와 더해짐으로써 구성된다[3].

$$r(t) = s(t) * h(t) + n(t) \quad (5)$$

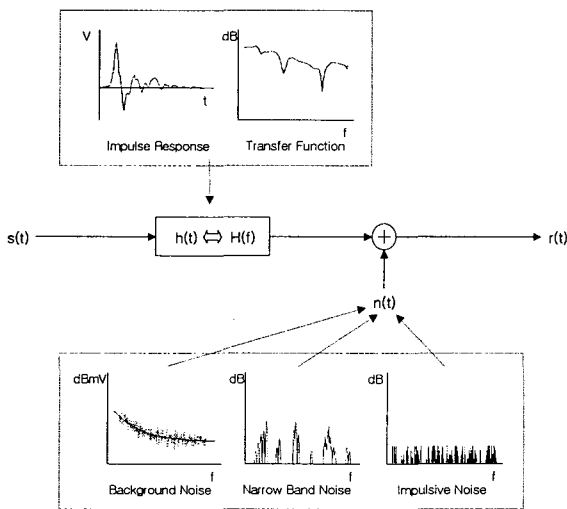


그림 10 전력선 채널 모델
Fig. 10 Model for power-line channel

3. 채널 Data Base

채널 Data Base의 구성에서 필수적인 파라미터만을 Data Base화함을 통해서 자원의 효율적인 관리가 가능하며, 이와

더불어, 그림 10과 같이 여러 채널 요소들의 조합 방식을 통해 채널의 변화에 대해 가변적 모델 구성이 가능하다.

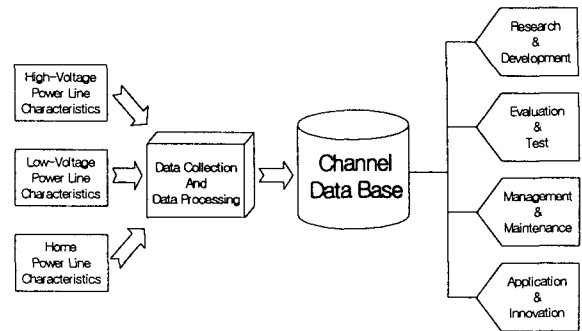


그림 11 채널 Data Base 구성
Fig. 11 Establishment of channel data base

그림 11은 전력선 채널 Data Base의 간단한 구성도이다. 전력선 채널은 고압, 저압, 그리고 옥내 전력선 구성에 따라 그 특성이 다르기 때문에 각각의 채널 측정이 필수적이다. 각각의 전력선 채널에 대해 장기간의 측정 수집된 Data는 채널 모델링을 통해 도출된 필수 파라미터들로 분류 및 정리되어 유용한 채널 정보만이 채널 Data Base에 저장된다. 이렇게 구성된 채널 Data는 전력선 통신 관련 기술의 연구 개발에 사용되며, 채널 Data Base 구성을 통해 얻어지는 표준채널은 전력선 통신 기술의 시험평가에 사용되며, 또 전력선 통신 사업자들에게는 통신 서비스의 효율적인 유지관리를 가능하게 한다. 더 나아가 채널 Data Base화 기술은 다른 통신 관련 응용분야에 파급효과도 기대할 수 있다.

현재 한국전기연구원에서는 채널 모델링 방법에 관한 연구와 더불어, 채널 요소 규정과 그에 대한 Data 수집, 그리고 구체적인 채널 Data Base 구축을 위해 다양한 연구를 진행 중에 있다. 또 채널 Data Base 활용 방안에 있어서, 전력선 통신 개발 업체들에 대한 기술 지원과 함께 공인 시험평가 방안을 계획하여 추진 중에 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 전력선 채널 Data Base 구축을 위한 기본 연구로서, 전력선 채널 모델링에 있어 대두되고 있는 통계적 모델링 방식에 대해 실측 채널과 모델링된 채널을 비교 검토하였으며, 단순화된 통계적 채널 파라미터들을 통해 채널 Data Base 구성이 효율적으로 이루어 질 수 있음을 확인하였다. 또한 채널 Data Base가 효과적으로 활용될 수 있는 다양한 측면을 제시하였다.

데이터 전송용이 아닌 전력 전송을 목적으로 설계되었기 때문에 전력선 채널은 무엇보다도 채널 특성에 대한 연구가 중요하다. 채널 파라미터의 보다 많은 측정과 축적을 통해 전력선 topology 및 부하 변화, 그리고 시간, 공간 등 다양한 변화 요인에 따라 전력선 채널을 규명하며, 이를 바탕으로 체계화된 Data Base 구축이 이루어지면, 전력선 통신 시스템의 안정적 운용과 발전을 더욱더 가속화시킬 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Klaus Dostert, "Powerline Communications", Prentice Hall, 2001
- [2] Nuria Gonzalez-Prelcic, et. al., "A Channel Model for the Galician Low Voltage Mains Network", ISPLC, 2001, pp. 365-370, 2001
- [3] Holger Philipps, "Development of a Statistical Model for Power-Line Communication Channels", ISPLC, April 2000, pp. 153-160, 2000
- [4] Manfred Zimmermann, Klaus Dostert, "An Analysis of the Broadband Noise Scenario in Powerline Networks", ISPLC, April 2000, pp. 131-138, 2000

저 자 소 개



오 휘 명 (吳 輝 明)

1976년 1월 6일생. 1998년 연세대학교 전기공학과 졸업. 2000년 동 대학원 전기전자공학과 졸업(공학석사). 2000년~현재 동 대학원 전기전자공학과 박사과정. 2001년~현재 한국전기연구원 연구원.
 Tel : 031-420-6178, Fax : 031-420-6199
 E-mail : hmoh@keri.re.kr



이 원 태 (李 垣 泰)

1955년 2월 15일생. 1983년 연세대학교 전기공학과 졸업. 1985년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 1985년~현재 한국전기연구원 책임연구원.
 Tel : 031-420-6173, Fax : 031-420-6199
 E-mail : wtlee@keri.re.kr



김 관 호 (金 觀 鎬)

1954년 6월 16일생. 1978년 숭실대학교 전자공학과 졸업. 1980년 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1983년~현재 한국전기연구원 책임연구원.
 Tel : 031-420-6171
 Fax : 031-420-6199
 E-mail : khkim@keri.re.kr



이 재 조 (李 在 祚)

1968년 8월 12일생. 1990년 경희대학교 문리과대학 물리학과 졸업. 1992년 경희대학교 일반대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1992년~현재 한국전기연구원 선임연구원. 2000년~현재 경희대학교 전자공학과 박사과정.
 Tel : 031-420-6177, Fax : 031-420-6199
 E-mail : jjlee@keri.re.kr